

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Analýza změny spotřeby paliva u autobusů při použití
emulzní motorové nafty

Analysis of Changes in Fuel Consumption of Buses by
Using Diesel Emulsion

Student: Vojtěch Mikulka

Vedoucí práce: Ing. Jan Famfulík, Ph.D

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Mikulka**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2301R003 Dopravní technika a technologie**
Specializace: **10 Dopravní technika**
Téma: **Analýza změny spotřeby paliva u autobusů při použití emulzní motorové nafty**
Analysis of Changes in Fuel Consumption of Buses Using Diesel Emulsion

Zásady pro vypracování:

Cíl: Vypracování analýzy změny spotřeby paliva u parku autobusů vybraného dopravce.

Osnova:

1. Úvod
2. Analýza výhod a nevýhod použití emulzní motorové nafty
3. Statistické metody vhodné k analýze změny spotřeby paliva
4. Stanovení změny spotřeby paliva s využitím experimentálních dat
5. Technické a ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Kysela, L.: Spalovací motory I. a II. Ostrava: VŠB-TU Ostrava.
2. Macek, J.: Suk, B.: Spalovací motory I. Praha: ČVUT Praha,
3. Briš, R.: Statistika 1. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. 2004
4. Duffy, J.: Auto Engines Technology. The Goodheart – Willcox Company. ISBN 1-56637-363-8
5. Podklady vybraného dopravce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22. 5. 2011

.....
Vojtěch Mikulka

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Vojtěch Mikulka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bezručova 21, 602 00 Brno

Dovoluji si na tomto místě poděkovat panu Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D., a panu Ing. Michalu Dordovi za vedení a cenné rady, které mi poskytovali. Tato práce by nevznikla bez vstřícnosti Dopravního podniku města Brna, děkuji jmenovitě panu Ing. Petrovi Chabičovskému který mi poskytl potřebné informace z praxe.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MIKULKA, V. *Analýza změny spotřeby paliva u autobusů při použití emulzní motorové nafty: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011, 41 s. bakalářská práce, vedoucí: Famfulík, J.

První část bakalářské práce popisuje emulzní naftu, její složení, výhody a nevýhody a zkušenosti s jejím využitím jako alternativního paliva. V další části jsou uvedena a zpracována data získaná ze zkušebního provozu v Dopravním podniku města Brna. Zde jsou také popsány vybrané statistické testy, které budou použity v další části a jsou vhodné k analýze změny spotřeby. Následuje výpočtová část. Zde jsou uvedeny výpočty a výsledky jednotlivých testů. Poslední část hodnotí získané informace a výsledky. Nejprve z ekonomického hlediska, kde je vyčíslena finanční úspora na PHM při použití emulzní nafty a poté i technické zhodnocení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MIKULKA, V. *Analysis of changes in fuel consumption of buses by using diesel emulsion: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2011, 41 p. Thesis head: Famfulík, J.

The thesis is divided into three basic parts. The first part describes the emulsion fuel, its composition, advantages and disadvantages and experiences with its use as an alternative fuel. In the next section, there are listed and processed data obtained from the test operation in the Transport department of the city of Brno. There are also described selected statistical tests to be used in other parts and they are suitable for the analysis of consumption changes. The following part is the calculation. Here are the calculations and the results of tests. The last section assesses the findings and results. First, from an economic standpoint, where financial saving is given, and then the technical evaluation.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM POUŽITÉHO OZNAČENÍ, ZKRATEK, TERMÍNŮ | 8 |
| 1 ÚVOD | 9 |
| 2.1 NAFTA | 11 |
| 2.2 VODA | 11 |
| 2.3 ADITIVA | 12 |
| 3 ANALÝZA VÝHOD A NEVÝHOD POUŽITÍ EMULZNÍ MOTOROVÉ NAFTY | 14 |
| 3.1 SROVNÁNÍ POŽADAVKŮ NA VLASTNOSTI EMULZNÍ A BĚŽNÉ MOTOROVÉ NAFTY | 14 |
| 3.2 VÝHODY | 16 |
| 3.3 NEVÝHODY | 17 |
| 4 STATISTICKÉ METODY VHODNÉ K ANALÝZE ZMĚNY SPOTŘEBY PALIVA | 20 |
| 4.1 ANALYZOVANÁ EXPERIMENTÁLNÍ DATA | 20 |
| 4.2 WILCOXONŮV TEST PÁROVÝCH HODNOT | 22 |
| 4.3 LILLIEFORSŮV TEST | 23 |
| 4.4 F – TEST | 24 |
| 4.5 TEST HYPOTÉZY O SHODĚ DVOU STŘEDNÍCH HODNOT | 26 |
| 5 STANOVENÍ ZMĚNY SPOTŘEBY PALIVA S VYUŽITÍM EXPERIMENTÁLNÍCH DAT | 28 |
| 5.1 WILCOXONŮV TEST PÁROVÝCH HODNOT | 28 |
| 5.2 LILLIEFORSŮV TEST | 29 |
| 5.3 F – TEST | 32 |
| 5.4 TEST HYPOTÉZY O SHODĚ DVOU STŘEDNÍCH HODNOT | 33 |
| 6 TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 36 |
| 6.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 36 |
| 6.2 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ | 38 |
| 6.3 ZÁVĚR | 39 |
| 7 SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ | 40 |

Seznam použitého označení, zkratek, termínů

| | |
|-----------|--|
| CFPP..... | Colf Filter Plug Point – teplota filtrovatelnosti |
| CO..... | Oxid uhelnatý |
| ČSN..... | Česká státní norma |
| DP..... | Dopravní podnik |
| DPMB..... | Dopravní podnik města Brna |
| EGR..... | Exhaust Gas Recirculation – zpětné vedení výfukových plynů |
| EMN..... | Emulzní motorová nafta |
| EN..... | Evropská norma |
| ETC..... | Europe Transient Test – předpis pro měření emisí |
| FAME..... | Fatty acid methyl ester – ester vyrobený z živočišných tuků, sádla a loje |
| MEŘO..... | Metylestery řepkového oleje |
| MHD..... | Městská hromadná doprava |
| NMHC..... | Nemetanové uhlovodíky |
| PHM..... | Pohonné hmoty |
| PM..... | Pevné částice |
| SCR..... | Selective Catalytic Reduction – systém snižující množství oxidů dusíku ve výukových plynech |

1 Úvod

Ve své práci analyzuji data poskytnutá Dopravním podnikem města Brna a.s., a to konkrétně vedením autobusové vozovny ve Slatině, proto ji alespoň stručně představím:

[15] Kvůli rozvíjející se autobusové dopravě v 60. a 70. letech 20. století v městě Brně vznikla potřeba vybudovat novou vozovnu. Její výstavba začala v roce 1973. Provoz byl zahájen 26. března 1976. Jednalo se zatím jen o servisní halu pro denní ošetření, čerpací stanici pohonných hmot a odstavnou plochu. V průběhu dalších let byla dostavěna diagnostická hala, mycí linka, správní budova s jídelnou, byla rozšířena odstavná plocha a přibýly opravárenské haly.

[14] V současnosti (duben 2011) pod slatinskou vozovnu spadá 185 autobusů, jedná se o tyto typy: Karosa B 731, B 732, B 741, B 931, B 941, B 951, B 961, Irisbus Citibus 12M, Citelis 12M, Citelis 18M, Crossway LE 12M a minibusy Mave CiBus ENA. Karosy řady 700 a 900 jsou jednotně vybaveny motory Liaz, to přináší snazší i levnější servis (není třeba zásoba dílů a speciální nářadí pro více druhů motorů atp.).

[15] Od roku 1984 se zde nachází i vozovna trolejbusů. Sestává pouze z odstavné plochy a montované haly, určené pro denní ošetření. V současnosti (duben 2011) je zde deponováno 23 trolejbusů typu Škoda 14Tr a Škoda 24Tr.

V areálu je i sídlo firem Voith Turbo (opravy automatických převodovek a prodej náhradních dílů) a Zliner Zlín (prodej náhradních dílů pro autobusy).

2 Složení emulzní nafty a její použití

[8] Již v počátcích motorismu, při prvních pokusech s palivy ředěnými vodou, si lidé nejspíš všimli změny barvy spalin vycházejících z motoru. V té době ovšem konstruktéry zajímalo spíše vnitřní chlazení motorů a krátkodobé zvýšení výkonu. A to, že světlý kouř z výfuků signalizuje nižší znečištění vzduchu, nehrálo při malé hustotě dopravy roli. Dnes jsou však priority jiné. Výrobci jsou tlačeni nekompromisními evropskými normami týkajícími se exhalací, takže se snaží, aby množství škodlivin, vycházejících z jejich vozidel, bylo rok od roku menší. Užívají k tomu různé moderní a nákladné systémy jako SCR, EGR, filtry pevných částic atp. Ovšem pohledem do statistik zjistíme, že k 31. 12. 2010 byl podle Sdružení automobilového průmyslu ČR průměrný věk autobusů 14,38 roku [17]. Z toho se dá usoudit, že většina u nás provozovaných autobusů nesplňuje emisní normy EURO 5 ani EURO 4. Zvláště ve velkých městech přispívají autobusy značnou měrou ke znečištění ovzduší a dopravci mají snahu snížit množství emisí. Jednou z možností je používání tzv. ekologických paliv. Do této kategorie patří i emulzní motorová nafta. Toto palivo se však od ostatních paliv liší svými omezeními. Tuto naftu nenajdete v běžné distribuční síti. Navíc není dovoleno jeho použití do osobních automobilů. Proto je emulzní nafta vhodná zejména pro velké dopravní podniky (dále v textu DP) a dopravní společnosti, které mají vlastní čerpací stanici. K pokusům s provozem na toto palivo přistoupily v ČR například DP Ostrava, Veolia Transport Teplice, DP města Brna, DP hlavního města Prahy. Emulzní nafta k nám přišla ze zahraničí, zkušenosti s ní mají ve Francii a Itálii. Právě použití v prostředcích MHD by mohlo pomoci městům, zamořeným výfukovými plyny. Autobusová doprava je ve městech a jejich okolí velmi rozšířená díky své přizpůsobivosti a malým vstupním nákladům. Některé menší podniky MHD ji využívají dokonce jako jediný prostředek. Ovšem i použití emulzní nafty s sebou přináší negativa. Zejména jednomu z nich se budu věnovat ve své práci. Jedná se o zvýšení spotřeby, které s sebou přináší i navýšení nákladů na provoz. Toto navýšení je ale kompenzováno cenovou politikou státu. Stát se snaží podporovat ekologická paliva jejich osvobozením od spotřební daně. Přestože cenový rozdíl mezi běžnou a emulzní motorovou naftou netvoří pouze spotřební daň, její cena je podstatně nižší. Pro zjištění ekonomické výhodnosti je ovšem nutno stanovit přesné hodnoty a zde mi pomohou statistické metody. Úkolem této práce je stanovit rozdíl ve spotřebě paliva při použití emulzní a klasické nafty a navazující ekonomické vyhodnocení.

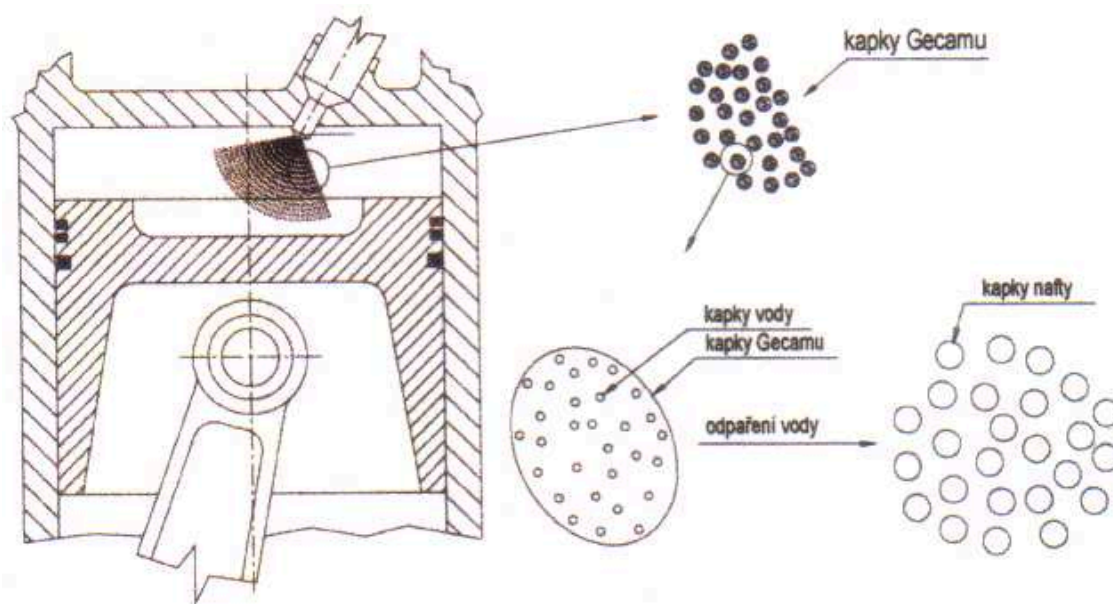
[2] Emulzní nafta se více prosadila pouze v Itálii a Francii, kde s ní mají dlouholeté zkušenosti. U nás je EMN vyráběna pod názvem GecamTM. Jediným jejím výrobcem v ČR je firma SVA Třebíč, která používá italský patent firmy Pirelli. Jedná se o emulzi vody v naftě, do které se přidávají aditiva.

2.1 Nafta

[1] „Motorová nafta určená pro přípravu emulzní nafty musí odpovídat ČSN EN 590.“
[2] Vyrábí se tedy z motorové nafty běžné kvality, jaká je k dostání u našich čerpacích stanic. To s sebou přináší výhody i nevýhody. Základní složkou EMN je tedy palivo, na které je motor konstruován, to znamená například, že na rozdíl od FAME – MEŘO není agresivní vůči těsněním. Využívání tohoto paliva nepřináší snížení závislosti na ropě. Její podíl v emulzi je 88 %.

2.2 Voda

[1] „K přípravě emulzní motorové nafty musí být použita deionizovaná voda s vodivostí maximálně 30 mS/cm bez viditelných mechanických nečistot.“ [2] [7]
GecamTM je tvořen z 10,3 % demineralizovanou vodou. Její elektrická vodivost je nižší než 15 mS/cm. Nízká vodivost a vysoká čistota jsou velmi důležité. Chrání palivovou soustavu před korozí a tvorbou usazenin. Kapičky vody musí být dostatečně malé, aby nedocházelo k jejich zachycování na odlučovacích filtrech vody. Nejdůležitějším úkolem vody v tomto palivu je rozbít naftovou buňku – kapku. Každá kapka GecamuTM vstříknutého do spalovacího prostoru by v sobě měla obsahovat i kapky vody o středním průměru 0,2 μm, jak je naznačeno na obr 1.1. Ty se ve spalovacím prostoru odpaří jako první a tak rozbijí naftovou buňku, ve které jsou vázány. Tím umožňují lepší prohoření, protože se zvětší plocha, kterou palivo reaguje se svým okolím.

Obr. č. 1.1: GecamTM – složení

Zdroj: [2]

V podstatě je to podobný efekt, jako kdybychom zvýšili vstřikovací tlak, tedy lépe rozprášili palivo. Tím že, se voda odpařuje, snižuje se teplota celé reakce. Právě špičková teplota spalovacího procesu je hlavní příčinou tvorby oxidů dusíku. Jejím snížením tedy dosáhneme i snížení emisí. U novějších motorů se snižování emisí oxidů dusíku dosahuje např. EGR ventily, které zajišťují recirkulaci výfukových plynů. Tyto plyny se nezúčastňují reakce, ale dokáží dobře pohlcovat teplo.

Přimíchání vody do nafty však nepřináší jen pozitiva. Snižuje se tím energetická hodnota paliva. To má za následek pokles výkonu. Ten ale není tak vysoký, jak by odpovídalo menšímu množství nafty v palivu, právě díky lepšímu spalování. Dle výrobce by se pokles měl pohybovat mezi 5 % a 8 %. Následkem snížení výkonu je nárůst spotřeby. Výrobce udává její zvýšení o přibližně 5 %.

2.3 Aditiva

[1] „Pro zlepšení kvality se povoluje použít aditiva. Doporučují se vhodná aditiva do paliv bez známých škodlivých vedlejších účinků v přiměřeném množství, aby pomohla zabránit zhoršení jízdních vlastností a dlouhodobě regulovat emise. Také se mohou používat jiné technické prostředky se stejným účinkem.“ Speciální směs aditiv pro GecamTM je chráněna patentem a tvoří 1,7 % EMN. Na jejím vývinu se podílela Technická škola v Miláně.

Její složení má umožnit [2] :

- obnovení původní mazací schopnosti nafty,
- obnovení původní zápalnosti nafty,
- bakteriální ochranu výrobku; zamezení bakteriálního množení bakteriálních druhů uvnitř nafty (častý problém v nádržích a skladovacích cisternách, zvláště při skladování venku a na zemi),
- analogické chování na základě teplot vzhledem k naftě; CFPP (filtrovatelnost) a bod průtoku zůstávají nezměněny vzhledem k základní naftě, ze které je vyráběna emulze,
- ochranu proti analogické korozi vzhledem k běžným motorovým naftám,
- čisticí účinek, projevující se odstraněním sedlin nebo rzi, které se tvoří zvláště na dně skladovacích cisteren a nádrží při skladování emulzní motorové nafty,

3 Analýza výhod a nevýhod použití emulzní motorové nafty

Tato část práce se týká použití EMN v provozu. Jsou zde zpracovány informace poskytnuté dopravními podniky i přímo výrobcem tohoto paliva. Budou zde uvedeny jeho výhody a nevýhody.

3.1 Srovnání požadavků na vlastnosti emulzní a běžné motorové nafty

Některé vlastnosti paliv, které jsou podstatné zejména z hlediska ochrany životního prostředí a spolehlivosti provozu dopravního prostředku, jsou předepsány normami. Následující tabulka č. 2.1 srovnává některé požadavky, které normy kladou na běžnou a emulzní naftu.

Tab. 2.1: Srovnání požadavků norem ČSN 65 6509 a ČSN EN 590

| vlastnost | jednotka | Emulzní | | Tradiční | |
|--|-------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|
| | | měrná hodnota | | měrná hodnota | |
| | | min. | max. | min. | max. |
| hustota při 15 °C | kg/m ³ | 835 | 870 | 820 | 845 |
| obsah síry | mg/kg | | | | |
| do 31.12.2004 | | | 310 | | 310 |
| do 31.12.2008 | | | 45 | | 45 |
| od 1.1.2009 | | | 10 | | 10 |
| bod vzplanutí | °C | 56 | | 55 | |
| popel | % | | 0,1 | | 0,01 |
| voda | % - mg/kg | 9% | 15% | | 200mg/kg |
| vzhled | | mléčný | nesmí obsahovat vrstvu volné vody | | |
| separace fáze | | | 9 | | |
| volná voda | | vyhovuje | vyhovuje | | |
| viskozita při 40 °C | mm/s ² | 2 | 7 | 2 | 4,5 |
| korozivní působení na měď (3h při 50 °C) | stupeň koroze | | třída 1 | | třída 1 |
| stanovení protikoročních vlastností | | | vyhovuje | | vyhovuje |
| mazivost, korigovaný průměr oděrové stopy (WSI,4) při 60 °C | μm | | 460 | | 460 |

| vlastnost | jednotka | Emulzní | | Tradiční | |
|----------------------------------|----------|---------------|------|---------------|------|
| | | měrná hodnota | | měrná hodnota | |
| | | min. | max. | min. | max. |
| CFPP | °C | | | | |
| 15.4.-30.9. | | | 0 | | 0 |
| 1.10.-15.12. | | | -10 | | -10 |
| 16.11.-28.2.¹⁾ | | | -20 | | -20 |
| 1.3.-14.4. | | | -10 | | -10 |

¹⁾ v přestupném roce 29.2.

zdroj: ČSN 65 6509 a ČSN EN 590

Nejvýraznější odlišnost se týká obsahu vody, což je pochopitelné. Podstatné je, že norma ČSN 65 6509 není z pohledu korozivního působení a mazivosti benevolentnější oproti ČSN EN 590. To je důležité zejména z hlediska provozní spolehlivosti a opotřebení motorů dopravních prostředků, používajících toto palivo. Některé části vstřikovacích systémů jsou mazány přímo naftou, navíc jsou velmi přesně vyrobeny a uloženy, proto by použití nekvalitního paliva mohlo mít fatální následky, a to zejména pro moderní motory. [7] Ovšem podle výrobce by GecamTM měl být použitelný i do novějších motorů, které splňují normu EURO 3 a využívají k dopravě paliva do válců [2]:

- řadová vstřikovací čerpadla s elektronickou regulací (EDC),
- systémy „čerpadlo-tryska“ (PDE),
- systémy „čerpadlo-potrubí-tryska (PLD).

Dle výrobce je použití emulzní nafty bezproblémové přibližně do normy EURO 5 (platná od září 2009), u těchto vozidel však může dojít k odstavení motoru, protože emulzní nafta je elektronikou řízení motoru považována za vodu.

Z tabulky č. 2.1 je také patrné, že i emulzní motorová nafta se vyrábí analogicky k běžné naftě podle tří různých klasifikací:

- letní: pro použití do cca 0°C,
- zimní: pro použití do cca -10°C,
- arktická: pro použití do cca -20°C.

[2] Tyto teploty samozřejmě závisí na vlastnostech základní nafty (zvláště vzhledem k obsahu parafínů). Zimní EMN se tedy vyrábí z běžné zimní nafty. Dále je nutné zabránit mrznutí vody v emulzi při nízkých teplotách. K tomu slouží směs, jejíž množství má rovněž vliv na teplotní rozsah použitelnosti výrobku.

3.2 Výhody

[4] [2] Největším přínosem emulzní nafty je snížení emisí, jak ukazuje tab. 3.1. Pouhým okem je znatelné, že motor při zatížení nevypouští tolik černého kouře. Saze jsou nebezpečnou složkou výfukových plynů, zejména malé částice mohou pronikat hluboko do plic a dále do krevního oběhu. Jejich emise jsou vysoké zejména při provozu motoru na volnoběh a s nízkým zatížením, rovněž při přechodovém stavu (rozjezd) jsou emise vysoké. Právě takovýto provoz je charakteristický zejména pro městské autobusy.

Tab. 3.1: Pokles emisí

Zdroj: [2]

| Typ emisí | Průměrné snížení u motorů EURO 0-1 (před r. 1996) | Průměrné snížení u motorů EURO 2 (1996 - 2001) | Průměrné snížení u motorů EURO 3 (2001- 2005) |
|---------------------------------------|---|--|---|
| NOx (oxidy dusíku) | -15% | -10% | -5% |
| CO (oxid uhelnatý) | -30% | -12% | -10% |
| PM (pevné částice) | -40% | -23% | -55% |
| kouřivost | -75% | -80% | -80% |
| CO₂ (oxid uhličitý) | -5% | -3% | -3% |

Jako pobídka k EMN rozšíření slouží osvobození od spotřební daně a tím se stává pro dopravce zajímavou i z ekonomického hlediska. Cenový rozdíl mezi emulzní a tradiční naftou ovšem snižují větší výrobní náklady. Její používání nevyžaduje úpravy na motorech. Přeprava a dodávání je stejné jako u tradiční nafty.

Další výhodou je její mísitelnost s klasickou naftou. Přechod od tradiční nafty tedy nevyžaduje žádné zásahy na dopravních prostředcích, například vypouštění palivových

nádrží. Tato opatření však výrobce doporučuje při opačném postupu. EMN je vyzkoušena v náročných provozech, např. [2]:

- v lomech, kde bývá úroveň čistoty pohonných hmot nižší než u linkových autobusů,
- v železniční nebo nákladní dopravě, kde dochází k promísení dodávek s naftou, mění se tedy obsah vody v emulzi.

[2] S využíváním EMN mají velkou zkušenost v Itálii. Zde je používána k pohonu cca 9000 vozidel, která jezdí v cca 80 městech, a také je jí vytápěno více než 500 soukromých a veřejných budov. Přímě na GecamuTM byly provedeny četné testy. Ty byly prováděny jak zkušebnami zabývajícími se certifikací motorů a emisí (Ricardo UK, TÜV, VERT-TTM, Laboratori Eni Tecnologie), tak přímo konstruktéry motorů a hořáků (IVECO, MAN, DEUTZ, SCANIA, Riello).

3.3 Nevýhody

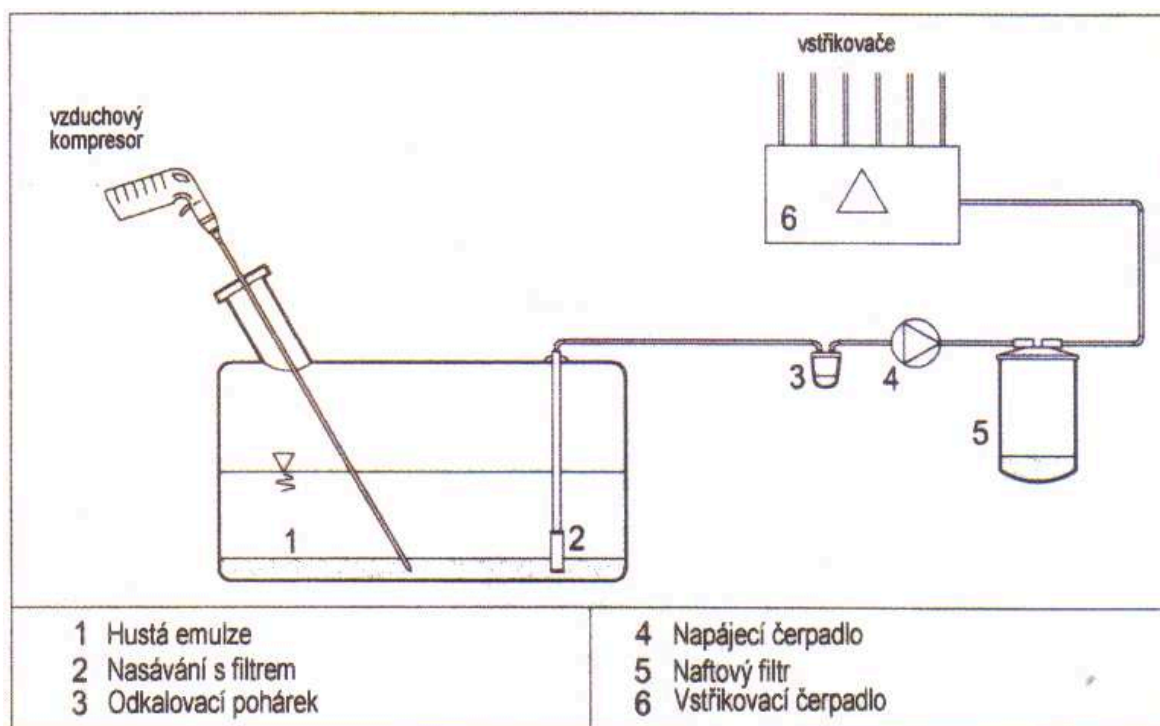
[2] [8] Použití emulzní nafty ovšem přináší i negativa, například pokles výkonu. Snížení maximální teploty procesu probíhajícího ve spalovacím prostoru může způsobit špatné startování při nízkých teplotách a dále bílý kouř způsobený odpařováním vody. Z těchto důvodů není u nás EMN většinou využívána celoročně. Při pokusech s tímto palivem, prováděných DP hlavního města Prahy, bylo zjištěno, že při teplotách do cca -5 °C bylo možné nastartovat většinu autobusů, ale při -10 °C už nešlo část autobusů nastartovat ani s použitím externího zdroje. Tyto zkušenosti vedly výrobce ke snížení množství vody na současných 10,3 %, dříve bylo toto množství o cca 3 % vyšší a norma umožňuje až 15 %.

Další nevýhoda opět souvisí se složením. Díky aditivu dochází k odstranění sedlin a rzi, tyto nečistoty se zachytávají ve filtrech, a proto by mohlo dojít k jejich předčasnému ucpání. Je tedy nutné vyčistit skladovací nádrže a zpočátku věnovat větší péči palivovým soustavám jednotlivých vozidel. Tuto počáteční nevýhodu by mělo kompenzovat období, ve kterém je napájecí/vstřikovací zařízení udržováno bez nečistot – ty byly odstraněny v počátcích používání EMN. Palivová soustava si zaslouží zvýšenou pozornost zvláště u vozidel, která byly dříve provozována na biodiesel nebo jeho směsi s tradiční naftou, a to ze dvou důvodů [2]:

- přítomnost usazenin a sedlin organického původu pocházející z rozkladu/kvašení biodieselu; při znečištění životního prostředí je výhodou tohoto biopaliva rychlý rozklad, ovšem dochází k němu i v nádržích automobilů,
- množení bakteriálních kmenů z důvodu přítomnosti vody na dně nádrží nebo umožněné přítomností vody ve struktuře GecamuTM.

[2] Ze zkušeností výrobce vyplývá, že u těchto vozidel bylo nutné vyčistit nasávání nafty v nádrži nebo „vyfoukání“ příváděcího potrubí, což přináší další náklady a odstávku vozidla. Pro tyto případy je dodáván speciální aditiv, hubící bakterie.

[2] EMN je pohonná látka určená k okamžitému použití. [1] „Použitelnost vyrobené šarže emulzní motorové nafty je maximálně 4 měsíce od data výroby.“ I v tomto období dochází ve výrobku k přirozenému vrstvení, typickému pro emulze. Tento proces způsobuje usazování vody na dně nádrže. Tvoří se tedy fáze s různým obsahem vody. Pro zajištění funkčnosti výrobku je nutno mu navrátit jeho původní homogenitu. Výrobce proto doporučuje instalaci míchacího (cirkulačního) zařízení ve skladovacích nádržích. Takováto zařízení nejsou nutná v nádržích vozidel – zde se jedná o malé dávky EMN a při provozu dopravního prostředku jsou míchány přirozeným způsobem. V případě, že vozidlo není v provozu déle než tři měsíce, výrobce emulzní nafty doporučuje před uvedením motoru do provozu promíchat obsah nádrže. K tomu lze použít trysku se stlačeným vzduchem, tím vrátíme výrobku jeho standardní homogenitu. Celý proces je naznačen na obr. 3.1. Pokud by nebyl proveden, motor sice nastartuje pravidelně, protože zpočátku je zásobován EMN z palivového filtru, mezitím ale dochází k nasávání výrobku s velkým obsahem vody, která je usazena na dně palivové nádrže, kde bývá i nasávání paliva a to je dopravován do válců. Další možností je drenáž dna nádrže; obvykle se vypouští cca 10 – 15 litrů nejhustší emulze, usazené u dna.



Obr. č. 3.1: Promíchání obsahu nádrže a palivová soustava

Zdroj: [2]

[2] [8] Zvýšenou péčí je třeba věnovat také předehřívání a ostatním spotřebičům spalujícím naftu. Mezi takové spotřebiče patří například nezávislá topení. Autobusy jsou jimi vybavovány, aby bylo možno v chladnějších měsících dosáhnout příjemné teploty v interiéru vozidla. Právě v MHD je spolehlivost těchto zařízení důležitá, protože v jejím provozu jsou často otvírány dveře, čímž dochází k ochlazení interiéru. Množství uhlovodíků vstřikované do spalovací komory těchto zařízení je v případě použití EMN přibližně o 10 % nižší oproti tradiční naftě. Doporučuje se tedy pomocí regulačního šroubu snížit i množství vzduchu na vstupu. Jinak může docházet k nesnadnému spouštění, nespolehlivé funkci nebo k vypouštění hustého bílého kouře.

4 Statistické metody vhodné k analýze změny spotřeby paliva

K vyhodnocení získaných dat využiji statistické metody. Podmínkou k tomu, abych získal kvalitní výsledky, které budou co nejlépe vystihovat skutečnou situaci, je zvolení vhodného statistického testu. Statistických testů je celá řada, proto jsem se snažil vybrat co možná nejvhodnější, vzhledem k tomu, co má být výstupem, analýzy a vzhledem k dodaným datům.

4.1 Analyzovaná experimentální data

Data poskytnutá DPMB vozovna Slatina měla tuto strukturu:

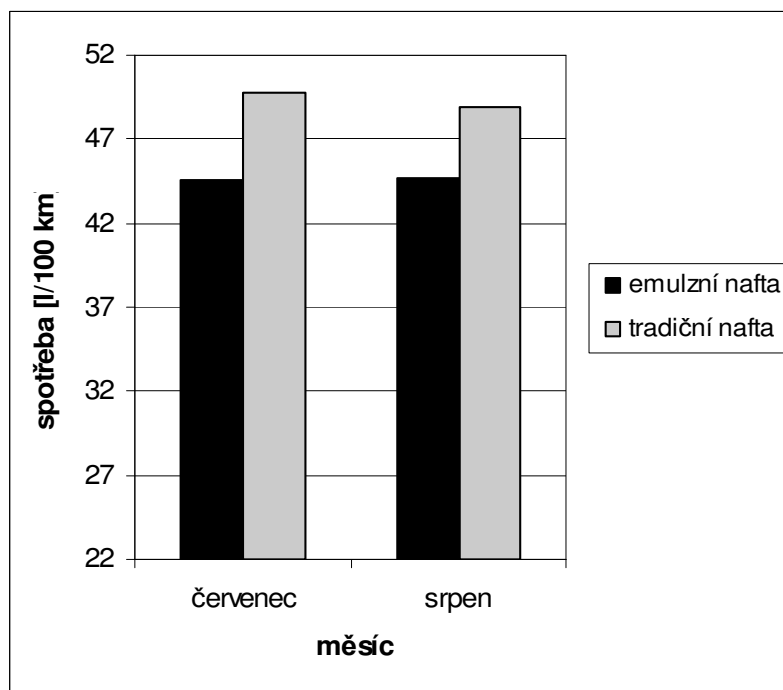
Tab. 4.1: Data o spotřebě a dopravním výkonu – červenec 2009 a 2010

| typ | dopravní výkon [km] | skutečná spotřeba [l] | skutečná spotřeba [l/100 km] |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| tradiční nafta | | | |
| B 731 | 58 821 | 23 830,22 | 40,5 |
| B 732 | 117 728 | 42 463,89 | 36,1 |
| B 741 | 27 903 | 15 355,15 | 55,0 |
| B 931 | 115 303 | 45 524,71 | 39,5 |
| B 941 | 91 179 | 47 739,23 | 52,4 |
| emulzní nafta | | | |
| B 731 | 49 248 | 21 959,31 | 44,6 |
| B 732 | 57 982 | 23 215,14 | 40,0 |
| B 741 | 23 494 | 13 575,71 | 57,8 |
| B 931 | 121 134 | 54 506,37 | 45,0 |
| B 941 | 69 428 | 39 781,41 | 57,3 |

Tab. 4.2: Data o spotřebě a dopravním výkonu – srpen 2009 a 2010

| typ | dopravní výkon [km] | skutečná spotřeba [l] | skutečná spotřeba [l/100 km] |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| tradiční nafta | | | |
| B 731 | 52 897 | 21 262,43 | 40,2 |
| B 732 | 70 291 | 25 753,46 | 36,6 |
| B 741 | 24 414 | 13 166,80 | 53,9 |
| B 931 | 118 402 | 46 798,71 | 39,5 |
| B 941 | 85 329 | 44 932,05 | 52,7 |
| emulzní nafta | | | |
| B 731 | 48 833 | 22 120,23 | 45,3 |
| B 732 | 73 811 | 30 173,98 | 40,9 |
| B 741 | 22 826 | 13 554,16 | 59,4 |
| B 931 | 124 171 | 56 961,00 | 45,9 |
| B 941 | 82 590 | 47 375,49 | 57,4 |

Měl jsem tedy potřebné údaje o spotřebě. V červenci a srpnu roku 2010 byly všechny typy výše uvedených autobusů provozovány na emulzní naftu. Aby bylo možno srovnávat, potřeboval jsem další skupinu dat, která se bude týkat spotřeby tradiční nafty stejných typů autobusů ze stejné garáže, protože autobusy z jiných vozoven obsluhují jiné linky a jejich spotřeby se mohou podstatně lišit. Na doporučení vedoucího autobusové dopravy DPMB jsem pro porovnání použil data ze stejných měsíců roku 2009. Spočítal jsem průměrné spotřeby za jednotlivé měsíce pro tradiční a emulzní naftu. Sestrojil jsem graf 4.1, ze kterého je patrný nárůst průměrné spotřeby v obou měsících při použití EMN. V následující kapitole budu pomocí statistických testů zjišťovat, je-li toto zvýšení statisticky významné.



Graf 4.1: Spotřeby za jednotlivé měsíce

4.2 Wilcoxonův test párových hodnot

Tento test nepředpokládá žádný konkrétní typ rozdělení, je tedy neparametrický. Porovnáváme v něm medián rozdílů obou souborů. Obecná formulace hypotéz podle [5] tedy může znít takto:

nulová hypotéza:

H_0 : Medián rozdílů je nulový

a proti ní alternativní hypotéza:

H_A : Medián rozdílů je různý od nuly

Zvolil jsem párovou variantu testu, protože zadaná data nám tvoří přirozeným způsobem páry – stejný měsíc a typ autobusu jednou provozován na tradiční a poté na emulzní naftu. Nevýhodou takovýchto testů je, že vycházejí z jednotlivých rozdílů párových hodnot, nemohu tedy ověřovat hypotézy předpokládající určitou hodnotu rozdílu středních hodnot různou od nuly.

výpočet:

$$d_i = X_i - Y_i \quad (4.1)$$

$$r_i = \text{rank}|d_i| \quad (4.2)$$

$$r_i^* = \text{sgn}(r_i) \quad (4.3)$$

kde:

d_i – rozdíl

X_i, Y_i – i-tý prvek

r_i – pořadí

rank – funkce přiřazující číslu pořadí

r_i^* – pořadí včetně znaménka

sgn – funkce přiřazující znaménko

[5] Při výpočtu nejdříve spočítám rozdíly pro jednotlivé páry, poté k těmto hodnotám přiřadím pořadová čísla podle absolutních hodnot rozdílů. Nakonec k pořadovým číslům přidám znaménka podle znamének rozdílů. Součet pořadových čísel se stejnými znaménky, který bude mít menší velikost, srovnám s kritickou hodnotou ze statistických tabulek ze zdroje [5] (vybíráme ji podle hladiny významnosti a počtu párů). Pokud tento součet překročil kritickou hodnotu, nelze nulovou hypotézu zamítnout.

4.3 Lillieforsův test

[9] Jedná se jednovýběrový test, nepoužiji ho tedy k porovnávání spotřeb, ale abych prokázal normální rozdělení dat obou skupin. Tento test také patří mezi neparametrické. Obecně nám umožňuje rozhodnout, jestli má výběr očekávané rozdělení. Prokazujeme v něm, jestli výběr pochází z rozdělení s očekávanou spojitou distribuční funkcí $F(x)$. Obecná formulace hypotéz může znít takto:

H_0 : Náhodný výběr pochází z rozdělení se spojitou distribuční funkcí $F(x)$

H_A : Náhodný výběr nepochází z rozdělení se spojitou distribuční funkcí $F(x)$

[9] Jedná se tedy o jakousi modifikaci Kolmogorovova-Smirnovova testu (více viz např. [10]), ale na rozdíl od něho nevyžaduje úplně specifikovanou teoretickou distribuční

funkci, postačí její odhady. Testová statistika je pro oba testy stejná. Tento test jsem vybral také proto, že i při malém rozsahu výběru dává dobré výsledky. Vychází z jednotlivých pozorování a nikoliv z dat seříděných do skupin, tím nedochází ke ztrátě informace obsažené ve výběru.

výpočet testového kritéria [9]:

$$D = \max \left\{ \left| F_o(x_i) - \frac{i-1}{n} \right|, \left| \frac{i}{n} - F_o(x_i) \right| \right\} \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n \quad (4.4)$$

kde:

D - testovací kritérium

$F_o(x_i)$ - očekávaná distribuční funkce v bodě x_i

i - pořadí

n - počet hodnot

výpočet kritické hodnoty L_{krit} pro $\alpha = 0,01$ [11]:

$$L_{\text{krit}} = \frac{1,04}{\sqrt{n}} \quad (4.5)$$

Velikost testového kritéria porovnáme s kritickou hodnotou, a jestliže ji překročí, lze hypotézu H_0 na stanovené hladině významnosti zamítnout.

4.4 F – test

[10] Tento test použiji podobně jako předchozí k prokázání některých vlastností výběrů. V tomto případě se jedná o shodnost nebo rozdílnost rozptylů obou skupin. Tuto informaci budu potřebovat k testu shody dvou středních hodnot. Užívá se pro dva nezávislé výběry o rozsahu n_x a n_y pocházející z populací, které mají rozdělení $N(\mu_x; \sigma_x^2)$, resp. $N(\mu_y, \sigma_y^2)$. Parametry neznáme $\mu_x, \sigma_x^2, \mu_y, \sigma_y^2$.

Nejllepšími bodovými odhady neznámých rozptylů jsou výběrové rozptyly [10]:

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})^2}{n_x - 1} \quad (4.6)$$

$$S_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n_Y - 1} \quad (4.7)$$

kde:

S_X^2, S_Y^2 - výběrové rozptyly

n_X, n_Y - počet prvků ve skupině

\bar{X}, \bar{Y} - odhady středních hodnot

m – počet prvků v první skupině

n – počet prvků ve druhé skupině

Obecně nulovou hypotézu formulujeme ve tvaru [10]:

$$H_0: \sigma_X^2 = \sigma_Y^2 \text{ neboli } \frac{\sigma_X^2}{\sigma_Y^2} = 1 \quad (\sigma^2 \neq 0).$$

kde:

σ_X^2 - rozptyl první skupiny

σ_Y^2 - rozptyl druhé skupiny

[10] Při volbě alternativní hypotézy máme tentokrát pouze dvě možnosti. Oboustrannou alternativu nemůžeme v tomto případě použít, protože definovaný výpočet p-value pro oboustrannou alternativu je podmíněn tím, že nulové rozdělení testové statistiky je symetrické. Protože tento test využívá Fischer-Snedecorovo rozdělení, není tato podmínka splněna.

Musím se tedy rozhodnout pro jednu z těchto alternativních hypotéz [10]:

$$H_A: \sigma_X^2 < \sigma_Y^2 \text{ neboli } \frac{\sigma_X^2}{\sigma_Y^2} < 1 \quad (\sigma_Y^2 \neq 0) \text{ pro případ } S_X^2 < S_Y^2$$

$$\sigma_X^2 > \sigma_Y^2 \text{ neboli } \frac{\sigma_X^2}{\sigma_Y^2} > 1 \quad (\sigma_Y^2 \neq 0) \text{ pro případ } S_X^2 > S_Y^2$$

výpočet testového kritéria [3]:

$$T(X, Y) = \frac{n_X (n_Y - 1) S_X^2}{n_Y (n_X - 1) S_Y^2} \quad (4.8)$$

Jestliže testové kritérium překročí kritickou hodnotu, mohu zamítnout hypotézu H_0 .

4.5 Test hypotézy o shodě dvou středních hodnot

V tomto případě budu porovnávat střední hodnoty spotřeb obou skupin. Nejistím tedy rozdíly spotřeb u jednotlivých typů autobusů, ale pro část vozového parku, která byla podrobena experimentu. To má z celkového pohledu větší vypovídací hodnotu o výhodnosti a vhodnosti použití tohoto alternativního paliva. Tento test patří mezi parametrické, předpokládá normální rozdělení dat. Toto tvrzení jsem musel nejdříve dokázat Lillieforsovým testem. Výpočet testového kritéria ovlivní i informace o rozptylech jednotlivých populací. Testové kritérium vybíráme na základě splnění některého ze tří předpokladů [10]:

- známe rozptyly obou populací,
- rozptyly populací neznáme, ale předpokládáme jejich shodnost – pomocí výběrových rozptylů,
- rozptyly populací neznáme, ale předpokládáme jejich různost – pomocí výběrových rozptylů.

[6] Vybrat správnou variantu mi pomůže F-test. V případech, kdy je k dispozici pouze malé množství dat, využívá tento test Studentovo rozdělení (viz např. [10]).

Zvolil jsem tedy na základě výsledků předchozích testů tuto variantu:

výpočet testového kritéria:

$$x_{obs} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_r \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4.9)$$

kde:

\bar{x}_1, \bar{x}_2 - odhady středních hodnot

$\mu_1 - \mu_2$ - teoretický rozdíl středních hodnot

n_1, n_2 - počty prvků ve skupinách

$$s_r = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (4.10)$$

kde:

s_1, s_2 - výběrové směrodatné odchylky

Jak je patrné ze vzorce pro výpočet testového kritéria, lze měnit teoretický (očekávaný) rozdíl středních hodnot. Tedy na rozdíl od Wilcoxonova párového testu, ve kterém ověřuji pouze hypotézy o rovnosti středních hodnot, mohu v tomto případě testovat i hypotézy o velikosti rozdílu středních hodnot. Toto je v mém případě velmi výhodné a žádoucí, neboť zjistím průměrný nárůst spotřeby.

5 Stanovení změny spotřeby paliva s využitím experimentálních dat

5.1 Wilcoxonův test párových hodnot

Nejprve jsem tedy formuloval hypotézy:

H_0 : Průměrné spotřeby obou skupin autobusů se významně statisticky neliší.

H_1 : Obě skupiny měly různou průměrnou spotřebu.

Výpočet jsem provedl dle kap. 4.1 a z důvodů přehlednosti jsem jej zapsal do tabulky č. 5.1:

Tab. 5.1: Wilcoxonův test párových hodnot - výpočet

| Měsíc | Typ | Emulzní | Tradiční | Rozdíl d_i | Pořadí r_i | Pořadí včetně znaménka r_i^* | |
|----------|-------|---------|----------|--------------|--------------|--------------------------------|---|
| | | | | | | + | - |
| Srpen | B 731 | 45,3 | 40,2 | 5,1 | 7 | 7 | |
| | B 732 | 40,9 | 36,6 | 4,2 | 4 | 4 | |
| | B 741 | 59,4 | 53,9 | 5,4 | 8 | 8 | |
| | B 931 | 45,9 | 39,5 | 6,3 | 10 | 10 | |
| | B 941 | 57,4 | 52,7 | 4,7 | 5 | 5 | |
| Červenec | B 731 | 44,6 | 40,5 | 4,1 | 3 | 3 | |
| | B 732 | 40,0 | 36,1 | 4,0 | 2 | 2 | |
| | B 741 | 57,8 | 55,0 | 2,8 | 1 | 1 | |
| | B 931 | 45,0 | 39,5 | 5,5 | 9 | 9 | |
| | B 941 | 57,3 | 52,4 | 4,9 | 6 | 6 | |

$$T_+ = 7 + 4 + 8 + 10 + 5 + 3 + 2 + 1 + 9 + 6 = 55$$

$$T_- = 0$$

$$T_+ > T_-$$

kde:

T_+, T_- - testové statistiky

Nyní jsem v statistických tabulkách našel kritickou hodnotu pro můj případ, tedy $n = 10$, a hladinu významnosti jsem zvolil $\alpha = 0,01$. Tuto hodnotu jsem si označil T_{krit} . Z tabulky jsem vybral nižší hodnotu testové statistiky a obě hodnoty jsem porovnal.

$$T_{krit} = 3$$

$$T_- = 0$$

$$0 < 3$$

$$T_- < T_{krit}$$

V tomto případě tedy zamítám nulovou hypotézu na zadané hladině významnosti. Obě skupiny autobusů tedy měly různou průměrnou spotřebu.

Výpočet tedy byl poměrně rychlý a jednoduchý. Nevyžadoval žádnou znalost o rozdělení souborů. Ovšem umožňuje nám ověřit pouze hypotézy o rovnosti a nerovnosti středních hodnot. Nepomůže mi tedy při hledání velikosti rozdílu. Už z tabulky je patrné, že u žádného typu autobusu nedošlo k snížení spotřeby v důsledku použití emulzní nafty.

5.2 Lillieforsův test

Tento test použiji k prokázání normality dat obou skupin. Nejprve jsem pomocí programu Microsoft Excel provedl odhady parametrů pro normální rozdělení. K tomu mi posloužila funkce PRŮMĚR (odhad střední hodnoty) a SMODCH.VÝBĚR (směrodatná odchylka výběru). Pro data týkající se emulzní nafty jsem dostal tyto hodnoty:

Tab. 5.2: Odhad parametrů – Emulzní motorová nafta

| | |
|--|------|
| <i>odhad střední hodnoty - μ</i> | 49,4 |
| <i>směrodatná odchylka výběru - S</i> | 7,7 |

Nyní jsem formuloval obě hypotézy:

H_0 : Data mají normální rozdělení o parametrech $\mu = 49,9$ a $S = 7,7$.

H_1 : Data nepocházejí z tohoto rozdělení.

Další výsledky jsem zapsal do následující tabulky. K výpočtu distribuční funkce normálního rozdělení $F_0(x_i)$ jsem opět použil Excel s funkcí NORMDIST.

Tab. 5.3: Lillieforsův test – výpočet pro Emulzní motorovou naftu

| Seřazené hodnoty | pořadí (i) | (i-1)/n | i/n | $F_0(x_i)$ | D_i pro i/n | D_i pro (i-1)/n | D_i |
|------------------|------------|---------|------|------------|---------------|-------------------|-------------|
| 40,0 | 1 | 0,00 | 0,10 | 0,11 | 0,01 | 0,11 | 0,11 |
| 40,9 | 2 | 0,10 | 0,20 | 0,13 | 0,07 | 0,03 | 0,07 |
| 44,6 | 3 | 0,20 | 0,30 | 0,27 | 0,03 | 0,07 | 0,07 |
| 45,0 | 4 | 0,30 | 0,40 | 0,28 | 0,12 | 0,02 | 0,12 |
| 45,3 | 5 | 0,40 | 0,50 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,20 |
| 45,9 | 6 | 0,50 | 0,60 | 0,32 | 0,28 | 0,18 | 0,28 |
| 57,3 | 7 | 0,60 | 0,70 | 0,85 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |
| 57,4 | 8 | 0,70 | 0,80 | 0,85 | 0,05 | 0,15 | 0,15 |
| 57,8 | 9 | 0,80 | 0,90 | 0,86 | 0,04 | 0,06 | 0,06 |
| 59,4 | 10 | 0,90 | 1,00 | 0,90 | 0,10 | 0,00 | 0,10 |
| max | | | | | | | 0,28 |

V tabulce jsem našel největší diferenci D_i mezi spojitou $F_0(x_i)$ a empirickou výběrovou distribuční funkcí, která je vlastně testovacím kritériem.

Kritickou hodnotu pro hladinu významnosti $\alpha = 0,01$ jsem spočítal podle vzorce 4.5:

$$L_{krit} = \frac{1,04}{\sqrt{n}} = \frac{1,04}{\sqrt{10}} = 0,32$$

$$L = 0,28$$

L - testové kritérium

$$0,32 > 0,28$$

$$L_{krit} > L$$

Testovací kritérium tedy nepřekročilo kritickou hodnotu, a proto nelze na zadané hladině významnosti zamítnout hypotézu H_0 , že data mají normální rozdělení.

U druhého souboru, jehož data se týkají spotřeby tradiční nafty, jsem postupoval obdobně:

Tab. 5.4: Odhad parametrů – běžná motorová nafta

| | |
|--|------|
| <i>odhad střední hodnoty - μ</i> | 44,6 |
| <i>směrodatná odchylka výběru - S</i> | 7,8 |

H_0 : Data mají normální rozdělení o parametrech $\mu = 44,6$ a $S = 7,8$.

H_1 : Data nepocházejí z tohoto rozdělení.

Tab. 5.5: Lillieforsův test – výpočet pro tradiční motorovou naftu

| Seřazené hodnoty | pořadí (i) | (i-1)/n | i/n | $F_o(x_i)$ | D_i pro i/n | D_i pro (i-1)/n | D_i |
|------------------|------------|---------|------|------------|---------------|-------------------|-------------|
| 36,1 | 1 | 0,00 | 0,10 | 0,14 | 0,04 | 0,14 | 0,14 |
| 36,6 | 2 | 0,10 | 0,20 | 0,15 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 39,5 | 3 | 0,20 | 0,30 | 0,25 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 39,5 | 4 | 0,30 | 0,40 | 0,26 | 0,14 | 0,04 | 0,14 |
| 40,2 | 5 | 0,40 | 0,50 | 0,28 | 0,22 | 0,12 | 0,22 |
| 40,5 | 6 | 0,50 | 0,60 | 0,30 | 0,30 | 0,20 | 0,30 |
| 52,4 | 7 | 0,60 | 0,70 | 0,84 | 0,14 | 0,24 | 0,24 |
| 52,7 | 8 | 0,70 | 0,80 | 0,85 | 0,05 | 0,15 | 0,15 |
| 53,9 | 9 | 0,80 | 0,90 | 0,88 | 0,02 | 0,08 | 0,08 |
| 55,0 | 10 | 0,90 | 1,00 | 0,91 | 0,09 | 0,01 | 0,09 |
| max | | | | | | | 0,30 |

Kritickou hodnotu L_{krit} jsem použil stejnou jako pro předchozí soubor.

$$L_{krit} = 0,32$$

$$L = 0,32$$

$$0,32 > 0,30$$

$$L_{krit} > L$$

Na zvolené hladině významnosti nelze zamítnout hypotézu H_0 . Také v tomto případě tedy test prokázal normalitu dat.

5.3 F – test

Použiji ho k otestování shodnosti rozptylů obou skupin. Výběrové rozptyly jsem vypočítal pomocí funkce VAR.VÝBĚR programu Excel. Tento program využívá k odhadu těchto hodnot vzorce 4.5 a 4.6.

Tab. 5.6: Výběrové rozptyly

| | <i>emulzní</i> | <i>tradiční</i> |
|--------------------------|----------------|-----------------|
| <i>výběrové rozptyly</i> | 58,63 | 60,57 |

Nyní jsem formuloval hypotézy:

$H_0: \sigma_X^2 = \sigma_Y^2$ neboli $\frac{\sigma_X^2}{\sigma_Y^2} = 1$, mezi rozptyly obou skupin není statisticky významný rozdíl.

$H_A: \sigma_X^2 < \sigma_Y^2$ neboli $\frac{\sigma_X^2}{\sigma_Y^2} < 1$ ($\sigma_Y^2 \neq 0$) protože v mém případě platí: $S_X^2 < S_Y^2$

Výpočet testového kritéria:

$$T(X, Y) = \frac{n_X (n_Y - 1) S_X^2}{n_Y (n_X - 1) S_Y^2} = \frac{9 \cdot (9 - 1) \cdot 58,63}{9 \cdot (9 - 1) \cdot 60,57} = 0,968$$

Kritickou hodnotu jsem stanovil opět pomocí Excelu, a to funkce FINV. Hladinu významnosti jsem zvolil $\alpha = 0,01$.

$$F_{krit} = 5,351$$

$$0,968 < 5,351$$

$$F < F_{krit}$$

Velikost testového kritéria nepřekročila kritickou hodnotu. Nelze tedy zamítnout hypotézu H_0 , že oba soubory mají stejný rozptyl.

5.4 Test hypotézy o shodě dvou středních hodnot

Nyní provedu parametrický test dvou středních hodnot. Nejprve otestuji tyto hypotézy:

H_0 : Průměrné spotřeby obou skupin autobusů se významně statisticky neliší.

H_1 : Obě skupiny měly různou průměrnou spotřebu.

Výběrové směrodatné odchylky jednotlivých výběrů (s_1 , s_2), nutné pro další výpočet, jsem stanovil v Excelu pomocí funkce SMODCH.VÝBĚR.

Tab. 5.7: Výběrové směrodatné odchylky

| | | |
|---------------------------------|----------------|-------|
| výběrové směrodatné odchylky | s_1 emulzní | 7,657 |
| | s_2 tradiční | 7,783 |

výpočet dle vzorce 4.10:

$$s_r = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} = \sqrt{\frac{(10 - 1) \cdot 7,657^2 + (10 - 1) \cdot 7,783^2}{10 + 10 - 2}} = 7,72$$

Střední hodnoty jsem stanovil pomocí funkce PRŮMĚR.

výpočet testového kritéria dle vzorce 4.9:

$$x_{obs} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_r \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{(49,4 - 44,6) - 0}{7,72 \cdot \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} = 1,364$$

Kritickou hodnotu jsem stanovil opět pomocí Excelu, a to funkce TINV. Její hodnota pro hladinu významnosti $\alpha = 0,01$ (do Excelu je nutné zadat 0,02, protože jsem počítal oboustranný test) je:

$$x_{krit} = 2,552$$

$$x_{obs} = 1,364$$

$$1,364 < 2,552$$

$$x_{obs} < x_{krit}$$

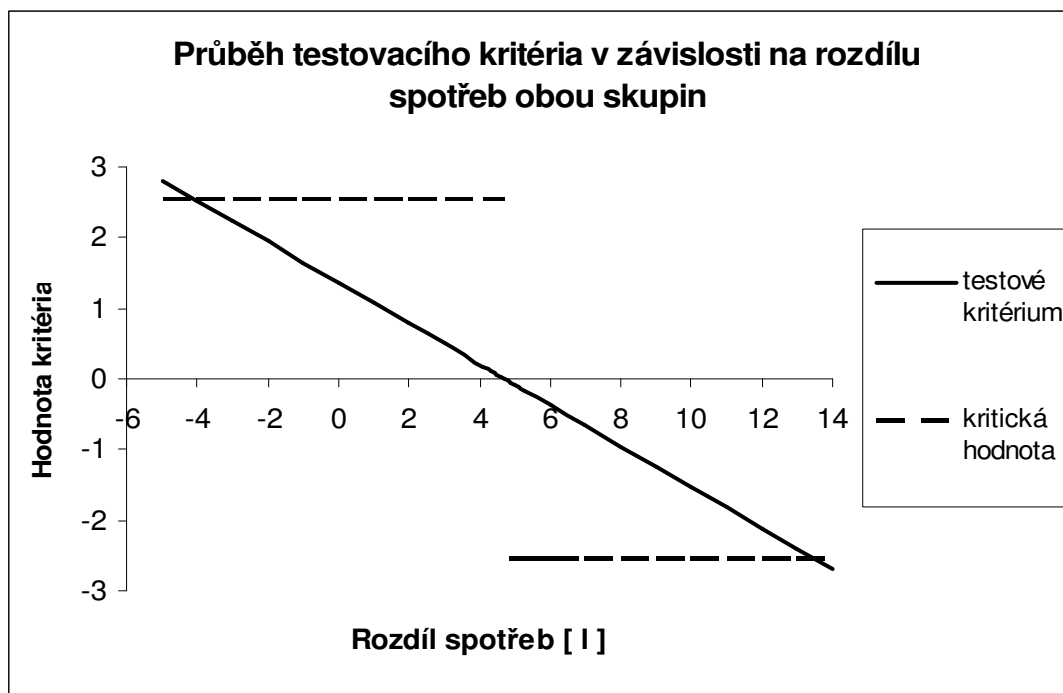
Tímto testem tedy na rozdíl od Lillieforsova testu zamítám hypotézu H_0 , tedy že se spotřeby obou skupin rovnají.

Nyní jsem tento výpočet opakoval, ovšem s různými hodnotami dosazenými za teoretický rozdíl středních hodnot, a výsledky jsem zapsal do této tabulky.

Tab. 5.8: Test hypotézy o shodě dvou středních hodnot - výsledky

| teoretický rozdíl středních hodnot | testové kritérium | kritická hodnota | kritická hodnota |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| -5,0 | 2,812862 | 2,55238 | |
| -3,0 | 2,233488 | 2,55238 | |
| 0,0 | 1,364426 | 2,55238 | |
| 2,0 | 0,785052 | 2,55238 | |
| 3,0 | 0,495365 | 2,55238 | |
| 4,5 | 0,060834 | 2,55238 | |
| 4,7 | 0,002897 | 2,55238 | |
| 4,8 | -0,02607 | | -2,55238 |
| 5,0 | -0,08401 | | -2,55238 |
| 6,0 | -0,3737 | | -2,55238 |
| 7,0 | -0,66338 | | -2,55238 |
| 9,0 | -1,24276 | | -2,55238 |
| 12,0 | -2,11182 | | -2,55238 |
| 14,0 | -2,69119 | | -2,55238 |

Z této tabulky jsem sestrojil následující graf pro větší přehlednost.



Graf 5.1: Výsledky

Tento test využívá Studentovo rozdělení, které má nejvyšší hodnotu pravděpodobnosti pro velikost testového kritéria 0, proto usuzuji z tab. 5.8 a grafu 5.1, že průměrný nárůst spotřeby při použití emulzní nafty byl přibližně 4,7 l/100 km.

6 Technické a ekonomické zhodnocení

6.1 Ekonomické zhodnocení

U části vozového parku vybraného dopravce, která se podrobila testu, došlo k průměrnému zvýšení spotřeby o 4,7 l/100 km, což je přibližně 10 % nárůst oproti průměrné spotřebě tradiční nafty. Ovšem je třeba započítat i rozdíl ceny tradiční a emulzní nafty. Údaje o cenách mi poskytl jiný dopravce (Veolia Transport Teplice s.r.o.), ze stejného období, kdy se prováděl pokus v DPMB a.s. Zde je třeba poznamenat, že i cenový rozdíl emulzní a tradiční motorové nafty, který je tvořen zejména spotřební daní a vyššími náklady na výrobu, není zcela konstantní. Výrobce určuje cenu pro jednotlivé zákazníky individuálně, přičemž jedno z důležitých kritérií je odebrané množství za rok. Dále je výsledná cena ovlivňována cenou surovin, a to zejména ropy. Pomocí záznamů výše zmíněného dopravce jsem stanovil průměrnou cenu za období červenec - srpen 2010 na 23,46 Kč/l a 18,97 Kč/l. Rozdíl v cenách byl tedy v tomto případě přibližně 4,49 Kč/l. Vybrané autobusy najely za 2 měsíce, po které experiment probíhal, téměř 674 000 km. Abych stanovil ekonomickou výhodnost, sestrojil jsem si nejprve tabulku, ve které jsou vyjádřeny náklady na PHM na 1 km pro obě paliva:

Tab. 6.1: Náklady PHM na 1 km jízdy

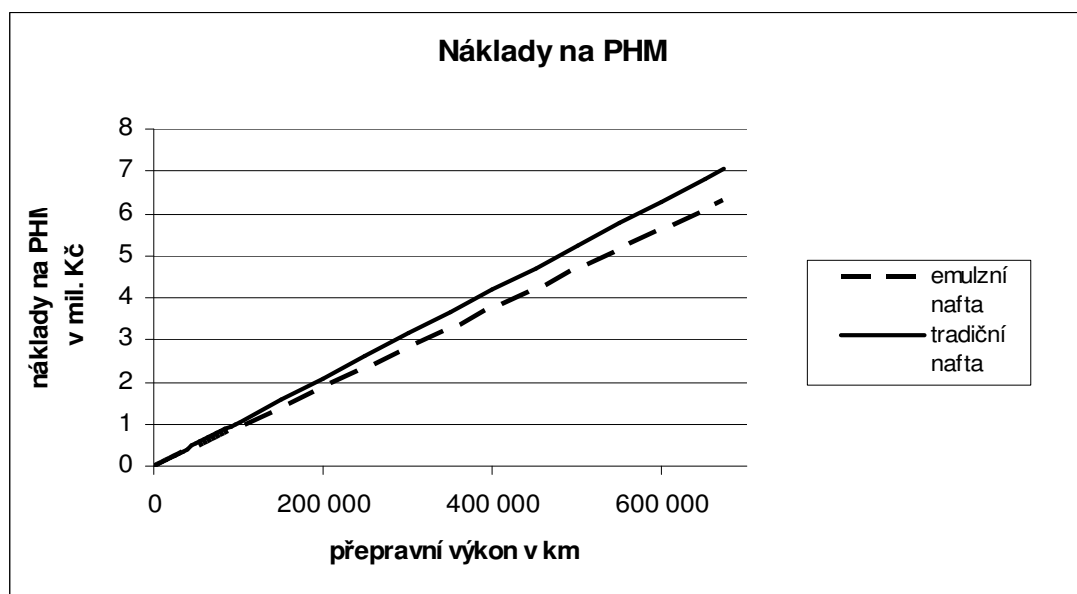
| <i>druh nafty</i> | <i>průměrná spotřeba [l/100km]</i> | <i>průměrná cena PHM [Kč]</i> | <i>náklady na PHM na 1 km [Kč]</i> |
|-------------------|--|-----------------------------------|--|
| <i>tradiční</i> | 44,64 | 23,46 | 10,47 |
| <i>emulzní</i> | 49,35 | 18,97 | 9,36 |

Pomocí této tabulky 6.1 jsem sestavil tabulku 6.2, ve které jsou náklady a jejich rozdíl vztaženy na ujetou vzdálenost.

Tab. 6.2: Náklady na PHM

| ujetá vzdálenost [km] | náklady na PHM | | rozdíl |
|-----------------------|----------------|----------------|---------------|
| | emulzní nafta | tradiční nafta | |
| 50 000 | 467 962 Kč | 523 629 Kč | 55 667,43 Kč |
| 100 000 | 935 924 Kč | 1 047 258 Kč | 111 334,85 Kč |
| 150 000 | 1 403 885 Kč | 1 570 888 Kč | 167 002,28 Kč |
| 200 000 | 1 871 847 Kč | 2 094 517 Kč | 222 669,70 Kč |
| 250 000 | 2 339 809 Kč | 2 618 146 Kč | 278 337,13 Kč |
| 300 000 | 2 807 771 Kč | 3 141 775 Kč | 334 004,56 Kč |
| 350 000 | 3 275 733 Kč | 3 665 405 Kč | 389 671,98 Kč |
| 400 000 | 3 743 695 Kč | 4 189 034 Kč | 445 339,41 Kč |
| 450 000 | 4 211 656 Kč | 4 712 663 Kč | 501 006,83 Kč |
| 500 000 | 4 679 618 Kč | 5 236 292 Kč | 556 674,26 Kč |
| 550 000 | 5 147 580 Kč | 5 759 922 Kč | 612 341,68 Kč |
| 600 000 | 5 615 542 Kč | 6 283 551 Kč | 668 009,11 Kč |
| 650 000 | 6 083 504 Kč | 6 807 180 Kč | 723 676,54 Kč |
| 674 000 | 6 308 125 Kč | 7 058 522 Kč | 750 396,90 Kč |

Z této tabulky jsem sestrojil graf 6.1.



Graf 6.2: Závislost nákladů na PHM na dopravním výkonu

Pokud tedy přihlížíme pouze k nákladům na PHM, přineslo použití emulzní nafty poměrně značnou úsporu, tedy 750 396,9 Kč za 2 měsíce provozu. Ovšem je třeba započítat i ostatní náklady spojené s jejím využíváním. Výrobce emulzní nafty je doporučena instalace promíchávacího zařízení do skladovacích nádrží, což představuje investici do 20 000 Kč/nádrž včetně montáže, čerpadla a armatur. Dále výrobce upozorňuje

na zpočátku nutnou větší starostlivost o palivovou soustavu. Obě tyto položky se těžko vztahují na kilometry. V prvním případě záleží na počtu skladovacích nádrží a druhá položka je ovlivňována typem motoru, jeho stavem a velikostí vozového parku. Použití emulzní nafty přineslo pro dopravce výhodu v podobě skončení zcizování nafty. Nejpodstatnější informací je, že od 1. 1. 2012 končí její daňové zvýhodnění, což podle vyjádření výrobce prakticky znamená její konec v ČR. Nabízí se otázka, proč vláda schvalovala pilotní projekt EMN, když zřejmě nepovede k dlouhodobějšímu používání tohoto alternativního paliva. [16] Například statutární město Ostrava poskytlo dotaci ve výši 4 miliony Kč DP Ostrava právě na projekty týkající se EMN.

6.2 Technické zhodnocení

Tento test byl proveden na autobusech značky Karosa řad 700 a 900. Konkrétně na typech B 731 (automatická převodovka), B 732 (mechanická převodovka), B 741 (kloubový, automatická převodovka), B 931 (automatická převodovka), B 941 (kloubový, automatická převodovka). Všechna tato vozidla mají motory Liaz v různých výkonových provedeních a splňující různé emisní limity. Tyto motory byly vybrány, protože náklady na jejich případné opravy by byly výrazně nižší než u novějších typů autobusů, využívajících motory Iveco. Ve všech případech se jedná o řadové šestiválce, vybavené přímým vstřikováním paliva s řadovým vstřikovacím čerpadlem. [12] Technik DPMB mi sdělil, že při zkušebním provozu nebyly zaznamenány žádné neobvyklé a opakované závady, které by ukazovaly na špatnou kvalitu emulzní nafty, a to u žádného provedení motoru. Jak jsem se zmiňoval v úvodu, došlo k snížení výkonu. Tím se zhoršily dynamické vlastnosti vozidel, což je značná nevýhoda například v období dopravní špičky. Motory zkoušených vozidel umožňovaly zásahem do vstřikovací soustavy nastavit větší dávku paliva, a tím poněkud zvýšit výkon a točivý moment, což bylo u některých autobusech provedeno. Ovšem u motorů, které mají elektronicky řízené palivové soustavy (většina motorů EURO 3 a novějších), by takovýto zásah byl velmi složitý. Emulzní nafta tedy přináší provozovateli ekonomickou úsporu a zejména u starších vozidel prokázal krátký test její bezproblémové použití. Navíc by jejím používáním mělo dojít k snížení produkce emisí. Tuto pohonnou látku lze chápat jako alternativu k bionaftě. Oproti bionaftě je toto palivo určeno pouze pro zvláštní distribuční sítě s vyloučením osobních automobilů, což je nevýhodné zejména pro dopravce se smíšeným vozovým parkem. Podobně jako bionafta není ani EMN vhodná pro vozidla, která nejsou vypravována pravidelně, ale jsou například

v záloze, protože dochází k usazování vody u dna palivové nádrže. Navíc není vhodná do nových motorů, což ji vzhledem k modernizaci vozových parků dále znevýhodňuje.

6.3 Závěr

Závěrem tohoto hodnocení chci zdůraznit ekologický přínos EMN jako alternativního paliva. V tabulce 6.3 jsou uvedena emisní data pro motor Tedom, při spalování různých paliv s různými systémy snižování emisí. [18] „Motory TEDOM lze také využít jako plnohodnotnou náhradu za motory LIAZ při opravách a přestavbách vozů.“

Tab. 6.3: Emise v závislosti na palivu

Zdroj: [19]

| CO [g/kWh] | No _x [g/kWh] | NMHC [g/kWh] | PM [g/kWh] | datum | |
|---------------|----------------------------|-----------------|---------------|-----------|---|
| 0,23 | 1,74 | 0,04 | 0,072 | 19.4.2010 | 1. test ETC s SCR a s zachycovačem MAN -palivo nafta |
| 1,69 | 10,58 | 0,059 | 0,0139 | 20.4.2010 | 2. test ETC bez SCR a bez zachycovačem MAN -palivo nafta |
| 1,35 | 9,4 | 0,067 | 0,059 | 21.4.2010 | 3. test ETC bez SCR a bez zachycovačem MAN -palivo emulzní nafta |
| 1,09 | 11,67 | 0,05 | 0,044 | 22.4.2010 | 4. test ETC bez SCR a bez zachycovačem MAN -palivo FAME |

Je jasné, že pokud by EMN nebyla vyřazena ze seznamu ekologických paliv, mohla nadále účinně přispívat ke zlepšování ovzduší českých měst. a to jednoduše, bez velkých nákladů nebo dopadů na jiné oblasti lidské činnosti jako je tomu např. u bionafty.

7 Seznam použitých pramenů

- [1] ČSN 65 6509. [s.l.] : [s.n.], 2004. 8 s.
- [2] *Návod k použití GecamTM*. [s.l.] : [s.n.], 2005. 15 s.
- [3] OTIPKA, Petr; ŠMAJSTRLA, Vladislav. *Pravděpodobnost a statistika* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2008 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>>.
- [4] VOJTÍŠEK, Michal. Dynamické měření výfukových emisí pevných částic ze spalovacích motorů za reálného provozu přenosnou aparaturou a jeho využití pro hodnocení dopadu legislativních opatření podle [online]. [s.l.], 2009. 6 s. Oborová práce. Technická univerzita v Liberci.
- [5] ZVÁROVÁ, Jana. *Základy statistiky pro biomedicínské obory* [online]. [s.l.] : [s.n.], 1999 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://new.euromise.org/czech/tajne/ucebnice/html/html/statist.html>>.
- [6] DORDA, Michal . *Aplikace počítačů v provozu* [online]. 2011 [cit. 2011-05-14]. Testování statistických hypotéz. Dostupné z WWW: <<http://homel.vsb.cz/~dor028/>>.
- [7] JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 4 - Příslušenství*. Brno : Avid, 2000. 305 s.
- [8] Emulzní nafta: čistší vzduch za méně peněz. *DP kontakt*. 2009, 14, 2, s. 14-15.
- [9] Briš, R.: Statistika 1, skriptum VŠB-TU Ostrava, 2004
- [10] LITSCHMANNOVÁ, Martina. Úvod do statistiky. [s.l.] : [s.n.], 2011. 331 s.
- [11] HENDL, Jan. Přehled statistických metod zpracování dat. Praha : Portál, 2006. 584 s. ISBN 80-7367-123-9.
- [12] MOTEJL, Vladimír, et al. Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů. Brno : Littera, 1998. 504 s. ISBN 80-85763-00-1.
- [13] VYKOUKAL, Rudolf. *Automobily*. Praha : SNTL, 1971. 412 s.

[14] BMHD [online]. 2002-2010 [cit. 2011-05-18]. Vozovna Slatina. Dostupné z WWW: <<http://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/vozovny.php?co=S>>.

[15] Wikipedie [online]. 2011 [cit. 2011-05-18]. Vozovna Slatina. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vozovna_Slatina>.

[16] Dopravní podnik Ostrava [online]. c2006 [cit. 2011-05-18]. Dotované projekty. Dostupné z WWW: <http://www.dpo.cz/spolecnost/dotace.htm#05>

[17] Sdružení automobilového průmyslu [online]. 31.12.2010 [cit. 2011-05-19]. Složení vozového parku v ČR - souhrnné registrace k 31.12.2010. Dostupné z WWW: <<http://www.autosap.cz/default2.asp?pagemain=sfiles/zasobsah.htm&page={6B406E48-5BD6-4527-AE7A-EABA394F447A}>>.

[18] Tedom [online]. 2010 [cit. 2011-05-19]. Vozidlové motory - palivo nafta. Dostupné z WWW: <<http://motor.tedom.cz/vozidlove-motory-nafta.html>>.

[19] Petroleum.cz [online]. 2010 [cit. 2011-05-19]. Alternativní paliva a jejich využití v dopravě. Dostupné z WWW: <http://www.petroleum.cz/upload/autotec_2010_03.pdf>.